

RF 스퍼터링법에 의한 SCT 박막의 기판온도 영향

오용철*, 김진사*, 조춘남*, 신철기*, 송민중**, 소병문***, 최운식***, 김충혁*, 이준웅*
광운대*, 광주보건대학**, 익산대학***, 대불대****

Influence of Substrate Temperature of SCT Thin Film by RF Sputtering Method

Y.C.Oh*, J.S.Kim*, C.N.Cho*, C.G.Shin*, M.J.Song**, B.M.So***, W.S.Choi****, C.H.Kim*, J.U.Lee*
*Kwangwoon Uni., **Kwangju Heath Col., ***Iksan Col., ****Daebul Uni.,

Abstract

The ($Sr_{0.9}Ca_{0.1}$)TiO₃(SCT) thin films are deposited on Pt-coated electrode(Pt/TiN/SiO₂/Si) using RF sputtering method at various substrate temperature. The optimum conditions of RF power and Ar/O₂ ratio were 140[W] and 80/20, respectively. Deposition rate of SCT thin films was about 18.75[Å/min]. The crystallinity of SCT thin films were increased with increase of substrate temperature in the temperature range of 100~500[°C]. The dielectric constant of SCT thin films were increased with the increase of substrate temperature, and changed almost linearly in temperature ranges of -80~+90[°C]. The current-voltage characteristics of SCT thin films showed the increasing leakage current as the substrate temperature increases.

1. 서 론

반도체 산업의 급속한 발전에 따라 전기·전자 소자의 소형화 및 집적화가 빠르게 진행되고 있으며, 이러한 과정에서 박막 기술은 전기전자재료 뿐만 아니라 새로운 비정질재료, 유전재료, 센서재료, 복합재료 등의 기계, 항공 및 통신 등 광범위한 분야의 응용이 모색되고 있다.[1,2] 근래에 반도체 기술을 대표하는 DRAM(Dynamic Random Access Memory) 소자에 있어서도 미세화에 의한 고집적화가 촉진되고 있다. 이러한 DRAM을 구성하는 캐패시터의 충전용량을 증가시키기 위해서는 유전 박막의 두께 감소, 면적의 증가 그리고 고유전율 재료의 도입이 이루어져야 한다.[3] 이런 고유전율 박막으로 사용될 수 있는 유전체 재료로는 PbTiO₃, BaTiO₃, SrTiO₃, BST (Ba_{1-x}Sr_xTiO₃) 등이 있다. 초기에는 유전상수가 큰 강유전성의 BaTiO₃계 세라믹 캐패시터가 주류를 이루었으나 온도변화에 따른 유전상수의 변화가 크고 유전손실이 크다는 단점을 가지고 있어 현재는 큰 유전

상수를 가지면서 유전손실이 작고 정전용량에 대한 온도특성 및 주파수 특성이 양호한 SrTiO₃계 세라믹 캐패시터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 증착 및 조성제어가 용이하고 양질의 박막을 얻을 수 있는 RF 스퍼터링법을 이용하여 ($Sr_{0.9}Ca_{0.1}$)TiO₃(SCT) 박막에 대한 기판온도의 영향에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 ($Sr_{0.9}Ca_{0.1}$)TiO₃(SCT) 박막 제조

본 연구에서는 구조적 및 전기적 특성이 안정하고 우수한 것으로 알려진 SrTiO₃계 세라믹 ($Sr_{0.9}Ca_{0.1}$)TiO₃(SCT)를 RF 스퍼터링법으로 박막을 제조하였다.[5] 박막 제조시 Ar/O₂비와 RF power 등의 조건을 변화시켜 박막두께와 증착률을 조사하였고, 실험에 사용된 기판은 비저항값이 1.5~3[Ωcm]인 P-type Pt/TiN/SiO₂/Si(100) 실리콘 웨이퍼이다. 실리콘 웨이퍼는 10×10[mm]으로 절단

하여 깨끗이 초음파 세척함으로써 표면에 잔류하는 불순물을 완전히 제거하였으며, 표 1에 증착시 SCT 박막에 대한 스퍼터링 조건을 나타내었다. 상부전극(top electrode)은 스퍼터링법을 이용하여 직경 1[mm]로 백금(Pt)을 2000[Å]의 두께로 증착하여 사용하였다.

표 1. SCT 박막의 스퍼터링 조건.

Target(2inch)	(Sr _{0.9} Ca _{0.1})TiO ₃ (SCT)
Substrate	P-type Pt/TiN/SiO ₂ /Si(100)
Base pressure	5 × 10 ⁻⁶ [Torr]
Working pressure	2 × 10 ⁻² [Torr]
RF power	100~160 [W]
Substrate temperature	100~500 [°C]
Ar/O ₂	50/50~90/10
Deposition time	80 [min]

2.2 측 정

증착하여 얻은 SCT 박막에 대한 결정립 크기와 표면 상태 등을 관찰하기 위하여 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)을 이용하여 관찰하였고, 증착된 박막의 기판온도에 따른 결정구조의 변화를 관찰하기 위하여 X-선 회절분석법(X-ray Diffraction, XRD)을 이용하여 분석하였다. 또한 증착된 시편의 유전상수(Dielectric Constant)는 Video Bridge 2150를 이용하여 온도범위 -150~200[°C], 10[kHz], 1[V_{rms}]에서 정전용량을 측정하였다. 시편의 두께는 ellipsometer(GAERTNER, L116C)를 사용하여 측정하였다. 정전용량의 주파수 특성은 LF Impedance Analyzer(HP 4192A)를 이용하여 1[V_{rms}], 0.1~1000[kHz]의 주파수 범위에서 정전용량 및 손실계수를 측정하였다. 시편의 전압-전류 특성은 Source Measure Unit(Keithley 236)을 이용하여 기판온도에 따라 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 RF power 140[W]에서 증착된 SCT

박막의 Ar/O₂비에 따른 두께 변화를 나타내었다. Ar 가스의 분압비가 증가함에 따라 SCT 박막의 두께는 증가되었으며, Ar/O₂비가 80/20에서 증착된 박막의 두께는 약 1500[Å] 이었다.

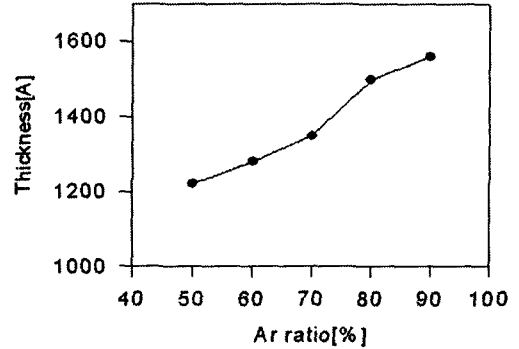


그림 1. Ar/O₂비에 따른 SCT 박막의 두께.

그림 2에서는 Ar/O₂비가 80/20에서 증착된 SCT 박막의 RF power에 따른 증착률의 변화를 나타내었다. RF power가 증가함에 따라 증착률이 증가됨을 알 수 있었으며, RF power가 140[W]에서 가장 큰 증가폭을 나타내었다. 이 때 SCT 박막의 증착률은 18.75[A/min]를 나타내었고, 80분 동안 증착된 SCT 박막의 두께는 약 1500[Å]이었다.

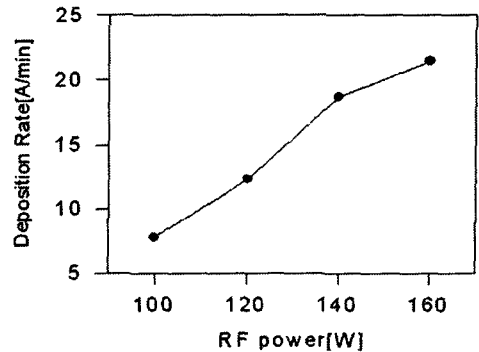
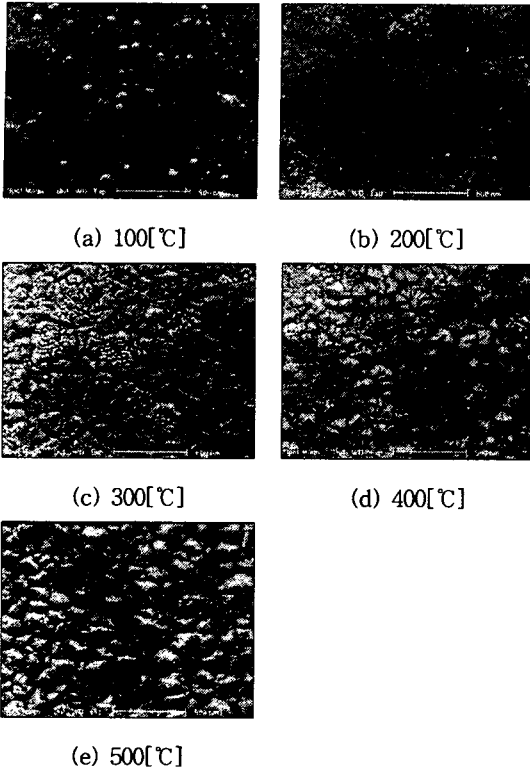


그림 2. RF power에 따른 SCT 박막의 증착률.

그림 3은 Ar/O₂비가 80/20, RF power 140[W]에서 증착된 SCT 박막의 기판온도에 따른 미세구조를 나타내었다. 기판온도가 증가되면서 결정립의 크기가 조금씩 증가됨을 알 수 있었으며, 기판온도 400[°C]이상에서 결정립이 크게 성장되고 뚜렷해짐을 관찰하였으며, 기판온도 400[°C]가 SCT 시편의 결정립 성장이 활성화되는 온도임을 알 수 있다.



(a) 100[°C]

(b) 200[°C]

(c) 300[°C]

(d) 400[°C]

(e) 500[°C]

그림 3. 기판온도에 따른 SCT 박막의 전자 현미경 사진.

RF power 140[W], Ar/O₂비가 80/20, 증착온도 400[°C]에서 제조한 SCT 박막의 정확한 정량분석을 위하여 EPMA 분석을 행하여 표 2에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 시편에서 B-site의 결핍된 조성비에 의해서 A/B의 비가 1.081로 약간 벗어남을 보이고 있다.

표 2. SCT 박막의 구성비.

A-site		B-site	A/B ratio (Sr+Ca)/Ti
Sr	Ca	Ti	
12.179	1.536	12.688	1.081

그림 4에 RF power 140[W], Ar/O₂비가 80/20에서 증착된 SCT 박막의 기판온도를 변화시키면서 제조한 박막의 XRD 형태를 나타내었다. XRD 피크의 상대적 세기를 볼 때 박막의 결정성은 기판온도가 증가함에 따라 배향성이 같은 방향으로 향상되었음을 확인할 수 있었다.

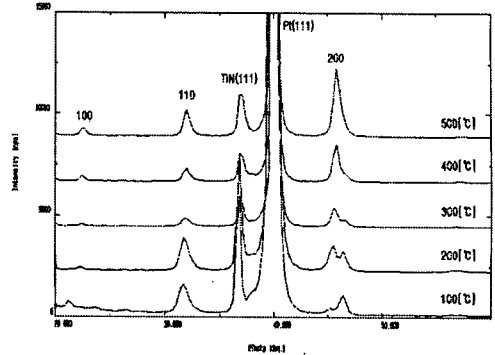


그림 4. 기판온도에 따른 SCT 박막의 XRD.

그림 5는 SCT 박막의 기판온도에 따른 유전상수와 유전손실의 온도 의존성을 측정하여 나타내었다. 유전상수는 기판온도가 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가하였으며, 온도범위 -80~+90[°C]에서는 거의 변화가 없고, 유전손실은 0.03 이하의 아주 양호한 값을 얻었다. 또한 각 시편의 유전손실에 대한 온도특성으로부터 -80[°C]이하 그리고 +90[°C]이상에서 유전손실이 약간 증가하고 있음을 알 수 있다.

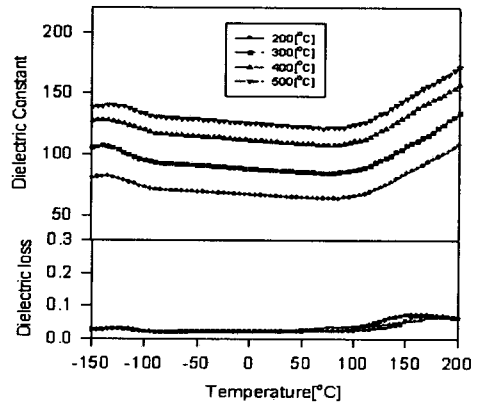


그림 5. SCT 박막의 기판온도에 따른 유전상수와 유전손실의 온도의존성.

그림 6은 기판온도 200~500[°C]에서 증착시킨 박막의 주파수 특성이다. 주파수가 증가함에 따라 유전상수는 100[kHz]까지는 약간씩 감소하는 경향을 보이다가 200[kHz] 이상에서 급격히 감소하였고, 유전손실은 0.1~200[kHz] 범위의 주파수에서 0.03 이하로 기판온도에 따라 커다란 차이는 보이

지 않으나 200[kHz] 이상에서는 유전손실이 매우 커지는 경향을 나타내었다.

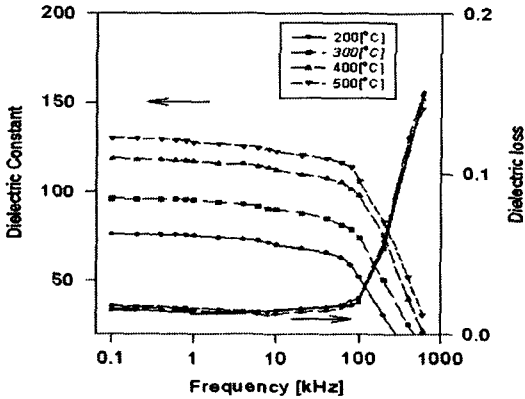


그림 6. SCT 박막의 기판온도에 따른 유전상수와 손실의 주파수 의존성.

그림 7은 SCT 박막의 각 기판온도에 따른 전압-전류특성을 측정하여 나타내었다. 누설전류는 전체적으로 아주 작은 양호한 값을 얻을 수 있었으며 기판온도가 상승함에 따라 누설전류도 증가하였다. 전계가 1 [MV/cm] 이하에서는 전류가 인가전계에 거의 비례하여 증가하며, 그 이상 전계에서의 전류는 비직선적으로 증가하여 파괴에 이르고 있음을 알 수 있었다.

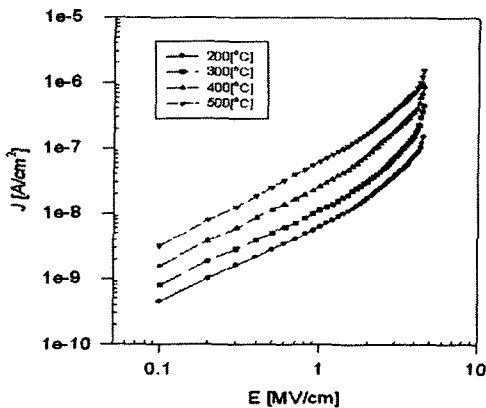


그림 7. 기판온도에 따른 SCT 박막의 전압-전류 특성

4. 결론

($\text{Sr}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}$) TiO_3 (SCT) 박막을 RF 스퍼터링법으

로 제조하여 기판온도의 영향에 대하여 측정한 결과는 다음과 같다.

(1) RF power 140[W], Ar/ O_2 비가 80/20에서 증착된 SCT 박막의 증착률은 18.75[A/min], 80분 동안 증착한 박막의 두께는 약 1500[Å]이었다.

(2) 기판온도가 증가되면서 결정립의 크기가 조금씩 증가됨을 알 수 있었으며, 기판온도 400[°C] 이상에서 결정립이 크게 성장되고 뚜렷해짐이 관찰되었으며 XRD 분석으로부터 피크의 상대적 세기를 볼 때 박막의 결정성은 기판온도가 증가함에 따라 배향성이 같은 방향으로 향상되었음을 확인할 수 있었다.

(3) 유전상수는 기판온도가 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가하였으며, 온도범위 -80~+90[°C]에서는 거의 변화가 없으며 유전손실은 0.03 이하의 아주 양호한 값을 나타내었다. 주파수에 따른 유전상수의 변화는 주파수 200[kHz] 이상에서 급격히 떨어짐을 알 수 있었다.

(4) 전압-전류 특성을 측정한 결과 기판온도가 상승함에 따라 누설전류도 증가하였으며, 전계가 1 [MV/cm] 이하에서는 전류가 인가전계에 거의 비례하여 증가하다가 그 이상의 전계에서의 비직선적으로 증가하여 파괴에 이르고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Susumu Nishigaki, Kanji Murano, and Akio Ohkoshi, "Dielectric Properties of Ceramics in the system ($\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.25}\text{Ca}_{0.25}$) TiO_3 - Bi_2O_3 ·3 TiO_2 and Their Applications in a High-Voltage Capacitor", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 65(11), pp. 554~560, 1982.
- [2] D. W. Hoffman, and J. A. Thorton, "Internal Stresses in Cr, Mo, Ta, and Pt Films Deposited by Sputtering from a Planar Magnetron Sources". J. Vac. Sci.&Technol., Vol.20(3), pp.355~358, 1982.
- [3] S. Matsubara, S. Miura, Y. Miyasaka, and N. Shohata, "Preparation of epitaxial ABO_3 Perovskite-type Oxide Thin Films on a(100) $\text{MgAl}_2\text{O}_4/\text{Si}$ Substrate", J. Appl. Phys., Vol.66(12), pp.5826~5832, 1989.